

预制舱式模块化变电站关键技术研究

狄 谦, 谢晓磊, 康雪晶, 贾芳丽, 尤晓亮

(河南平高电气股份有限公司, 河南 平顶山 467000)

摘要: 光伏、风电等新能源的快速发展, 对可快速拼装、施工周期短的预制舱式模块化变电站需求大幅增加, 经调研发现, 此类变电站存在舱体隔热差、易腐蚀和易进尘、分模块设备布置和分段不合理及运输、吊装困难等问题。分析了问题产生的原因, 通过增加断桥夹芯板改进表面处理和喷锌工艺, 提高了舱体隔热、抗腐能力, 经试验达到要求; 换用微正压空调系统, 使舱内保持微正压, 提高了防尘效果; 优化分模块设备布置, 合理分段, 方便运输的同时, 增加了可扩展性; 总结经验对电站线缆进出及接线方式、整站电磁兼容及辅助设备配置等关键技术进行研究并提供方案; 为预制舱式模块化变电站的设计、推广提供依据和参考。

关键词: 预制舱; 模块化; 结构; 尺寸

Research on key technologies of prefabricated modular substation

DI Qian, XIE Xiaolei, KANG Xuejing, JIA Fangli, YOU Xiaoliang

(Henan Pinggao Electric Co., Ltd, Pingdingshan 467000, China)

Abstract: With the rapid development of new energy sources such as photovoltaic and wind power, the demand for prefabricated modular substations with rapid assembly and short on-site construction period has increased significantly. A large number of investigations have found that prefabricated modular substations have problems such as poor heat insulation, easy corrosion and easy dusting, unreasonable layout of independent sub-modules, and difficulties in transportation and lifting. The causes of these problems are analyzed. Through the addition of broken bridge sandwich panels and improved surface treatment and zinc spraying process, the cabin insulation and corrosion resistance are improved, and all the indicators have been tested to meet the application requirements. The use of micro-positive air conditioning maintains a slight positive pressure inside the cabin, improves the dustproof effect of the cabin. The research optimizes the equipment layout of each sub-module, reasonably segments, and improves the flexibility of power station design while facilitating transportation. According to engineering experience, it researches and provides solutions for key technologies such as power cable entry and exit, wiring mode, electromagnetic compatibility of entirety stations, and auxiliary equipment configuration. The research content provides basis and reference for the design and promotion of prefabricated modular substation.

Key words: prefabricated cabin; modular; structure; size

0 引言

预制舱式模块化变电站运用“标准化设计、工厂化加工和装配式建设”理念, 将一

次、二次设备集成到预制舱中, 形成独立功能的分模块, 在现场拼装建成变电站^[1-2]。预制舱式模块化变电站大部分工作在工厂内完成, 具

有建造周期短（3~4个月）、占地面积小（110 kV变电站占地1~3亩）、现场工作少（约占砌体房屋变电站的1/3）^[3]和产品质量可控的特点。经过大量调研发现，预制舱式模块化变电站存在舱体隔热差、易腐蚀和易进尘、各独立分模块设备布置和分段不合理及运输、吊装困难等问题。这些问题限制了预制舱式模块化变电站的推广应用。本文针对预制舱式模块化变电站存在的问题，以及电站线缆进出和接线方式、整站电磁兼容及辅助设备配置等关键技术进行研究并提供解决方案。

1 国内外现状

国外开展模块化变电站研究时间较早，20世纪60年代欧美等西方发达国家推出一种户外模块化变电站，受到世界各国电力工作者重视^[4]，20世纪90年代日本大量变电站就已采用模块拼装来建设。2013年国内提出配送式智能变电站，开始逐步采用模块化建设^[5]。经过多年发展，二次设备预制舱式模块化技术已成熟，一次设备在低电压变电站有应用，但在110 kV及以上变电站尚未大规模采用。

2 预制舱

电站设备按功能划分，集成到相应预制舱中，形成独立的功能分模块，预制舱的质量决定整站寿命。经过大量调研，预制舱存在隔热能力差、夏天舱内温度高达40℃以上、舱体易生锈及舱内易进灰尘等问题，这些问题滞后了预制舱式模块化变电站的大规模推广，是急需解决的问题。

2.1 舱体结构

预制舱由舱体骨架及安装于骨架上的舱壁、舱门和顶盖组成。舱体骨架采用一体式焊接结构，包括底架和上部框架。底架由骨架和铺板焊接成型。顶盖采用防雨的双坡结构，坡度一般不小于5°。舱体骨架结构如图1所示。

2.2 预制舱隔热

预制舱舱壁采用内、外层钢板包裹型钢骨

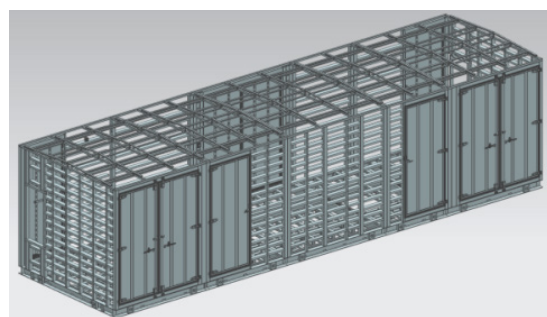


图1 舱体骨架结构

Fig. 1 Cabin skeleton structure

架结构，骨架空隙填充隔热防火材料（如岩棉或玻璃棉）。型钢骨架将内、外层钢板连接在一起，舱壁未完全断桥，是预制舱隔热能力差的主要原因。解决方法为在外层钢板与骨架之间增加夹芯板（如岩棉夹芯板或玻璃棉夹芯板），中间骨架空隙填充岩棉或玻璃棉，外层采用高强度瓦楞钢板，瓦楞钢板与夹芯板空隙用岩棉填充，舱壁完全断桥，隔热层厚度也有所增加，在40℃高温环境下，经空调系统降温，舱内温度能长期稳定在25℃左右。舱壁结构如图2所示。

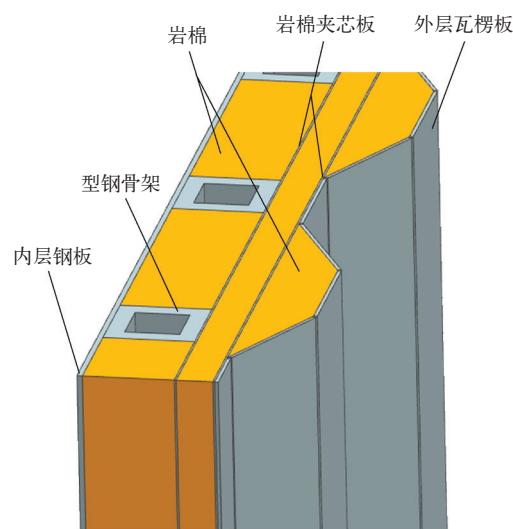


图2 舱壁结构

Fig. 2 Cabin wall structure

2.3 预制舱防腐蚀

舱壁外层采用不锈钢，造价过高，用镀锌板刷漆，镀锌层太薄，长时间舱壁依然会出现锈蚀。增加舱体外层表面抗腐能力的方法为：表面经喷丸、吹尘处理后热喷锌，锌层厚度要

求大于50 μm ，再喷富锌底漆和环氧铁红中涂层，最后喷面漆，这种工艺处理过的预制舱金属样板经中性盐雾试验720 h，无气泡和锈迹现象，预制舱抗腐能力大幅度提高。

2.4 预装舱防尘

在气候干燥、灰尘较大地区，灰尘会通过细小缝隙进入舱内，影响设备运行。防止灰尘进入的方法为：舱内安装微正压空调器，经微正压送风，使舱内保持在105%大气压，能有效抵抗灰尘进入。

3 各分模块

电站设备按功能集成到相应预制舱中，成为功能独立分模块，在一些大规模电站，部分功能模块设备较多，外形尺寸较大，依据道路运输要求需分段处理，经调研发现模块设备布置及分段不合理，运输、吊装困难，这些是普遍存在的问题。以下依据道路运输要求，针对电站关键分模块设备布置及分段进行优化设计。

3.1 运输要求

国标GB 1589—2016《汽车、挂车及汽车列车外廓尺寸、轴荷及质量限值》规定低平板半挂车货台宽度最大限值为3 m，承载面离地面高度不大于1.15 m。经调研国内运输公司低平板半挂车高度一般为1 m，小于1 m半挂车通过能力差，绕道运输费用较高。2016年交通运输部第62号《超限运输车辆行驶公路管理规定》文件规定车货高度大于4.5 m，需护送，费用较高。综合考虑，分模块尽可能总体高度不大于3.5 m，总体宽度不大于3 m。

3.2 126 kV GIS模块

126 kV GIS外形最大间隔尺寸为6 400 mm × 820 mm × 3 100 mm（长×宽×高），GIS在舱体内可直列布置，也可并列布置。综合考虑运输及扩展性，设计两类GIS模块。

126 kV GIS并列布置和直列布置两类模块的外形尺寸如表1所示。

表1 GIS模块外形尺寸

Tab. 1 GIS module outline size table

模块类型	尺寸（长×宽×高）/ mm×mm×mm	备注
GIS I型	10 060×9 940×3 400	现场拼舱
GIS II型	31 170×4 870×3 400	现场拼舱

3.3 10 kV出线模块

10 kV出线开关采用KYN28—12柜，下出线，额定电流在1 250 A及以下柜体尺寸为2 300 mm × 1 500 mm × 800 mm（高×深×宽），额定电流大于1 250 A，柜体尺寸为2 300 mm × 1 500 mm × 1 000 mm（高×深×宽），参考《GB 50060 3~110 kV高压配电装置设计规范》综合考虑运输和扩展性。10 kV出线两类模块外形尺寸如表2所示。

表2 10 kV出线模块外形尺寸

Tab. 2 10 kV outlet module outline size table

模块类型	尺寸（长×宽×高）/ mm×mm×mm	备注
10 kV I	17 200×8 200×3 400	现场拼舱
10 kV II	20 000×5 050×3 400	现场拼舱

3.4 35 kV出线模块

35 kV下出线空气柜尺寸为2 540 mm × 2 800 mm × 1 400 mm（高×深×宽），充气柜尺寸为2 500 mm × 1 690 mm × 600 mm（高×深×宽），参考《GB 50060 3~110 kV高压配电装置设计规范》，综合考虑运输及扩展性。35 kV出线两类模块外形尺寸如表3所示。

表3 35 kV出线模块外形尺寸

Tab. 3 35 kV outlet module outline size table

舱体类型	尺寸（长×宽×高）/ mm×mm×mm	备注
35 kV I型	13 600×5 230×3 400	现场拼舱
35 kV II型	24 800×6 340×3 400	现场拼舱

3.5 二次模块

标准二次屏柜尺寸为800 mm × 600 mm × 2 260 mm（宽×深×高），考虑到运输及可扩展性，二次模块外形尺寸如表4所示。

表4 二次模块外形尺寸

Tab. 4 Secondary module outline size table

模块类型	尺寸 (长×宽×高) / mm×mm×mm	备注
二次	21 000×10 000×3 400	现场拼舱

3.6 35 kV接地及10 kV无功补偿模块

接地变压器和无功补偿预制模块外形尺寸如表5所示。

表5 接地变压器和无功补偿预制模块外形尺寸

Tab. 5 Grounding transformer and reactive power compensation module outline size table

模块类型	尺寸 (长×宽×高) / mm×mm×mm	备注
35 kV 接地变压器模块	6 400×2 500×3 200	整体运输
10 kV 无功补偿模块	7 400×2 200×3 200	整体运输

模块分段设计便于运输的同时,也方便通过独立模块段的增加或减少满足不同规模变电站的需求,增加了预制舱式模块化变电站设计运用的灵活性。

4 进出线方式及接线方式

连接各分模块一次、二次设备的进出线,包括一次线缆、二次测控电缆和光缆三种。

4.1 一次线缆

主变压器与进出线模块及各模块之间一次线缆为架空线时,宜经穿墙套管从模块舱体侧上方进入舱内;为电缆时,电缆截面积和弯曲半径较大,较宜从模块舱体底部进线,在预装舱底部开设700 mm×700 mm下入孔,方便安装和检修。

4.2 二次测控电缆、光缆

二次测控电缆、光缆截面积和弯曲半径小,上部进线不方便施工和检修,极少采用,较多采取在模块舱体底部设置电缆夹层,电缆、光缆布置在夹层槽盒里,集中连接到各自模块的端口箱上。

4.3 接线方式

一次线缆采用架空线或电缆,根据布置确

定长度后,厂内预制好线夹或插拔头,现场只需简单作业,为节省长度,一次线缆独立布置。

二次测控电缆、光缆较多,每个分模块配置一个接线端口箱,模块内电缆、光缆集中接线,最终汇集到接线端口箱上,端口箱上预制好快速插拔件,各模块之间端口箱用厂内预制好的测控电缆、光缆连接。

5 电磁兼容

电磁兼容是电站设计必须遵守的原则,为使模块内各设备之间及各模块之间达到良好的电磁兼容,主要采取以下措施:

1) 预制舱由优质钢材一体化焊接,形成封闭的金属壳体,壳体可靠接地,可以有效地抑制电磁污染的传导和辐射。

2) 各模块舱内设置一、二次接地铜排,设备通过接地铜排可靠接地。

3) 选用线缆尽量带屏蔽层,屏蔽层可靠接地。

4) 交直流配电线路、电流电压回路与其他弱电回路电缆分开敷设,若无法实现,采取隔离或屏蔽措施。

5) 通信设备的专用接地导体与邻近的防雷引下线之间配置浪涌保护器。

6 辅助设备配置

各分模块配置辅助设备调节和监视设备运行环境,并能在紧急情况下预防事故进一步扩大。主要配置如下:

1) 配置站用变电站供电的照明系统和带自蓄电的应急照明系统。

2) 配置可内部打开的逃生门、应急指示牌,便于内部人员在紧急情况下迅速逃离舱体。

3) 配置可远程控制、来电自启动并带有除湿功能的微正压空调器,既可以调节舱内温度,又可以保持舱内微正压,防止灰尘进入;台数为一主一备或两主一备。

4) 配置烟感和带红外功能的视频监控系统,对舱内环境实时监控,并需配备可手动也可遥控的声光报警灯。

5) 根据模块舱体大小配置2个或更多个磷酸铵盐干粉灭火器,用于抑制初期突发火灾。

7 运输、吊装和拼接

7.1 运输

各分模块采用低平板半挂车运输,模块分段严密包装,直立放置,并在模块舱体薄弱处增加支撑,提高牢固性。

安装GPS对车辆运输位置和行驶状况实时监控,并在模块上加装三维冲击记录仪,记录运输状态。

7.2 吊装

分模块尺寸较大,为组合结构,为避免模块吊装时分解,宜用底部吊装。起吊时,吊绳挂在舱体底座向外抽出的暗藏式吊柱,并采用防止吊绳向内收缩勒坏舱体的起吊梁,将舱体轻轻吊起,慢慢放置在预制好的基础上。

7.3 拼接

模块分段需现场拼装,分段运输到现场就位后,两舱段间的距离为10~20 cm,采用导链将距离进一步缩短,通过焊接将两段舱体连接在一起。

8 结束语

采用预制舱式模块化变电站是解决常规变电站现场施工量大、周期长、费用高和质量难以把控等一系列问题最有效的方法。通过增加断桥夹芯板,舱壁完全断桥,舱体隔热能力大幅提高;改变表面处理和喷锌工艺,提高了舱体抗腐能力;采用微正压空调器,保持舱内微正压,提高了舱体防尘能力;根据运输要求对

各分模块设备布置优化设计,合理分段,方便了运输和吊装的同时,提高预制舱模块化变电站设计灵活性;对电站线缆进出及接线方式、提高整站电磁兼容方法及辅助设备配置等关键技术进行了研究并提供了方案,为预制舱式模块化变电站设计及推广提供参考。

参考文献

- [1] 周文. 配送式预制舱智能变电站技术[J]. 电气技术, 2014(4): 88-91.
- [2] 包红旗. 智能模块化变电站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016: 1-13.
- [3] 杨丽薇, 王立丹, 支沛. 110 kV预装变电站在新能源电网中的应用分析[J]. 工程建设与设计, 2018(23): 87-89.
- [4] 顾峰. 浅谈高压/低压预装式变电站的现状与发展趋势[J]. 电气应用, 2006(7): 16-18.
- [5] 盛晓云. 标准配送式智能变电站建设实践[J]. 通讯世界, 2014(1): 104-106.

作者简介



狄 谦

狄谦(1982-),男,硕士研究生,高级工程师,从事高压电压绝缘技术与高压电器成套设备的技术研究与新产品开发工作。

谢晓磊(1987-),男,硕士研究生,助理工程师,从事高压电器成套设备的技术研究与新产品开发工作。

(收稿日期: 2019-01-17) **EA**